جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و سوم، پائیز ۱۳۹۶

صص ٦٦- ٤٧

DOI: 10.22067/geo.v6i3.57628

مدل‌سازی ارتباط شاخص‌های پیوند از دور با ناهنجاری‌های دمایی فصل گرم در ایران با استفاده از وایازی چندمتغیره

محمدامین حیدری[1] - دانشجوی دکتری آب‌وهوا شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

فرامرز خوش‌اخلاق- دانشیار آب‌وهوا شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/٤/۲۹ تاریخ تصویب: ۱۳۹٦/۲/۲۷

چکیده

در رخداد ناهنجاری‌های آب‌وهوایی، نوسانات جوی و اقیانوسی جوی و اقیانوسی مؤثر هستند. یکی از انواع مهم این ناهنجاری‌ها دماهای ناهنجار و گرماهای کم سابقه به‌ویژه در فصل گرم سال است. برخی از چرخه‌های جوی و اقیانوسی در فزونی و تشدید ناهنجاری دما در این فصل مؤثر هستند. این پژوهش با هدف مدل‌سازی وایازی ارتباط مهم‌ترین شاخص‌های اقیانوسی و جوی با ناهنجاری‌های فراگیر دمای هوا در فصل گرم سال (ابتدای ماه مه تا انتهای ماه سپتامبر) در پهنه ایران انجام شده است. در این پژوهش رابطه همبستگی و توابع بهینه وایازی بین ۱۷ شاخص جوی و اقیانوسی و مقادیر استاندارد شده دما در ۳۰ ایستگاه همدید کشور با دوره آماری بیش از ۵۰ سال داده (۱۹٦۱-۲۰۱۰) و با روش پیرسون و در چهارگام زمانی متفاوت (به ترتیب گام همزمان، یک، دو و سه ماه پیشتر) به‌منظور تبیین و پیش‌بینی ناهنجاری دمای هوا در ایران ارائه شده است. بر این اساس تحلیل همبستگی عددی بین شاخص‌های مورد بررسی و ناهنجاری دمایی ایستگاه‌ها در فصل گرم سال در پهنه ایران نشان داد، شاخص‌های NINO3، NINO1+2، NINO3.4، NINO4، GBI، GLOBAL MEAN TEMPERATURE، از مهم‌ترین شاخص‌های اقیانوسی-جوی مرتبط با ناهنجاری دمایی فصل گرم در منطقه مورد مطالعه هستند. همچنین در این پژوهش توابع وایازی خطی برای ارتباط شاخص‌ها و ناهنجاری ماهانه و متوسط دمای ایران ارائه گردیده، که به‌وسیله آن می‌توان تغییرات دمایی ایران را تبیین و پیش‌بینی کرد. صحت عملکرد این توابع با استفاده از مطابقت داده‌های واقعی و مدل‌سازی شده (برآورد مقادیر r همبستگی، مقدار RMSE وMBE) با میزان اریبی قابل قبولی مورد تأیید قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی آماری، وایازی چندمتغیره، ناهنجاری دما، شاخص‌های پیوند از دور، ایران.

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱٦۳۵۲٦۸۲٦

Email: heydaryamin@yahoo.com

۱. مقدمه

آب‌وهوای کره زمین مجموعه‌ای نظام‌مند و یکپارچه است، که در آن بازیگران زیادی نقش‌آفرینی می‌کننـد. دریاهـا و اقیانوس‌ها یکی از بازیگران مهم این مجموعه به‌حساب می‌آیند. دریاها و اقیانوس‌ها قادر هستند بخش بسـیار زیـادی از انرژی تابشی خورشید را در خود ذخیره سازند و همچنین با توجه به ماهیت سیال بودن، ایـن توانـایی را دارنـد کـه این انرژی را به سایر بخش‌ها و قسمت‌های کره زمـین بـه طـرق گونـاگون (جریـان سـطحی، جریـان زیـر سـطحی، همرفت و فرارفت رطوبت) منتقل سازند. ازاین‌رو نوسان رفتار اقیانوسی موجب تغییر در الگوهای جوی نیز مـی‌گـردد که در ادامه آن می‌تواند وضعیت آب‌وهوایی کوتـاه و درازمـدت منـاطق مختلـف را دچـار نوسـان نمایـد. بـر اسـاس پژوهش‌های صورت گرفته دمای آب و در برخی نواحی ویژگی‌های جوی متأثر از آن (ازجمله فشار جـو) در نـواحی مشخصی از جهان موجب تغییراتی در رفتـار سـامانه آب‌وهـوا در مقیـاس ماهانـه، فصـلی، سـالانه و حتـی چندسـاله می‌گردد، و درنتیجه این تغییرات مؤلفه‌های جو زیرین نیز متأثر از آن می‌گردند. با توجه به اهمیت بحـث پیونـد از دور در دهه‌های اخیر همواره پژوهشگران آب‌وهواشناسی در تلاش بوده‌اند تا ضمن شناسایی نقاط حساس و مـؤثر رابطـه جو و اقیانوس در مناطق مختلف کره زمین، اثر این رابطـه بـر مؤلفـه‌های سـطحی و کیفیـت فعالیـت بشـر را بررسـی نمایند. الگوی پیوند از دور ماهیت سیاره‌ای دارند و سراسر اقیانوس‌ها و قاره‌ها را در برگرفته و بسیاری نیـز در ارتبـاط با همدیگر عمل می‌نمایند (چهره آرا ضـیابری، ۱۳۹۱). تمـامی الگوهـای پیونـد از دور پدیـده‌هایی طبیعـی و حاصـل سرشت آشوبمند جو و منبعث از پویایی درونی آن می‌باشند. این الگوهـا معـرف تغییـرات کـلان در الگوهـای امـواج جوی و رودبادها بوده و بر الگوی دما، بارش، مسیر رگبار و موقعیـت و شـدت رودبادهـا در قلمروهـای وسـیع تـأثیر می‌گذارند. به همین دلیل الگوهای پیوند از دور موجد ناهنجاری‌هایی هستند که همزمان در نـواحی خیلـی دور از هـم دیده می‌شوند (عساکره، ٤٨:١٣٨٦). درواقع تغییرپذیری رفتار جو برآیندی از مجموعه رفتـار و تعامـل اقیـانوس و جـو می‌باشد، ازاین‌رو شاخص‌هایی که به تبیین ناهنجاری رفتار اقیانوس و درنتیجـه آن جـو می‌پـردازد، مـی‌تواننـد کمـک شایانی به شناسایی علل و ماهیت رخداد ناهنجاری‌های کوتاه و بلندمدت آب‌وهـوایی در یـک منطقـه نماینـد. مطالعـه ناهنجاری‌های فراگیر دمای هوا در فصل گرم در ایران در ارتباط با مهم‌ترین شـاخص‌های اقیانوسـی و جـوی شـناخته شده جهان مسئله اساسی این پژوهش می‌باشد. تاکنون پژوهش‌های گوناگونی در زمینه ارتباط ناهنجـاری بـارش ایـران و شاخص‌های پیوندازدور صورت گرفته، اما در این زمینه به دمای هوا توجـه کمتـری شـده اسـت. بـه‌طور مشـخص دمای هوا و به‌ویژه در فصل گرم مهم‌ترین عنصر اقلیمی در ایران محسوب می‌شـود کـه در زمینـه مباحـث مربـوط بـه تبخیر و ناهنجاری‌های دمایی و همچنین مباحث مربوط به تأمین آب، و شناسایی ارتبـاط و رفتـار دمـا و پیش‌یـابی آن به‌وسیله شاخص‌های پیوندازدور می‌تواند کمک شایانی به مدیریت بهتر کشور در زمینه زیسـت‌محیطی و آب‌وهـوایی نماید. در زمینه شاخص‌های پیوند از دور تاکنون پژوهش‌های بسیار زیادی صورت گرفته کـه در اینجـا بـه تعـدادی از

آن‌ها اشاره می‌گردد.پژوهش‌های زیادی در زمینه شاخص‌های پیوند از دور انجام شده است که در این بخش تنها به ارائه خلاصه‌ای از مهم‌ترین آن‌ها اکتفا می‌گردد. رابرت و همکاران (۱۹۹۹) اثر شاخص انسو را بر تغییرات پهنه یخ در دریای برینگ مورد بررسی قرار دادند، و نشان دادند دوره‌های مثبت شاخص انسو معمولاً با وسعت پهنه یخ در منطقه مورد اشاره دارای همبستگی معکوس می‌باشد.

کای و همکاران (۲۰۰۱) اثر انسو را بر نوسانات بارش شمال استرالیا بررسی کردند و نشان دادند که ارتباط قوی بین تغییرپذیری بارش شمال استرالیا و شاخص‌های پیوند از دور انسو وجود دارد. کوتیل و همکاران (۲۰۰۲) الگوی دریای شمال-دریای خزر را شناسایی و فازهای مثبت آن را با کاهش دما و افزایش بارش و فاز منفی آن را با افزایش دما و کاهش بارش در بالکان و خاورمیانه مؤثر دانستند. جان و جیانگ (۲۰۰۲) تغییرپذیری دمای جوّ منطقه‌حاره و اثرات آن‌ها را بر روی اقلیم مناطق برون‌حاره در ارتباط با انسو بررسی کرده و گرمایش جو آزاد درون حاره‌ای را متأثر از النینو دانسته‌اند. تانگ و نیلین (۲۰۰٤) اثر انسو را بر رخداد توفندهای اقیانوس اطلس بررسی کردند و انسو را عاملی برای شدت تغییرپذیری و فراوانی آن‌ها در اقیانوس اطلس دانستند.

شب بر (۲۰۰٦) نقش انسو را بر اقلیم کانادا بررسی کرده و اثر النینو را بر روی دما، بارش و جنبه‌های اقتصادی رخداد النینو مطالعه کرده است. ویکتور و همکاران (۲۰۱٤) به بررسی اثر شاخص PDO [1] بر تابستان‌های آمریکای شمالی پرداختند و نشان دادند اثر این شاخص بر تابستان‌های این منطقه معنادار و محسوس می‌باشد. کلی و همکاران (۲۰۱٤) به بررسی اثر شاخص‌های پیوند از دور اقلیمی بر تغییرپذیری بارش در حوضه آبریز فلینت (جنوبشرق ایالات‌متحده) پرداختند و نشان دادند شاخص انسو یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها دراین‌ارتباط می‌باشد. جیانگ و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی بارش‌های سنگین غرب ایالات‌متحده در رابطه با شاخص‌های پیوند از دور اقیانوس آرام و اطلس پرداختند. هانس و همکاران (۲۰۱۳) اثر پیوند از دور شاخص NAO را بر اقلیم تابستانه شرق آسیا مؤثر دانستند.

ازجمله دیگر پژوهش‌ها در زمینه پیوند از دور در وقوع ناهنجاری‌های آب‌وهوایی در مناطق مختلف کره زمین می‌توان به کارهای سوزان[2] و همکاران ۲۰۱۱، آجای[3] و همکاران ۲۰۱۳، گلسر[4] و همکاران ۲۰۱۳، آلهیت[5] و همکاران ۲۰۱۳، واچنیکا[6] و همکاران ۲۰۱۰، شیمودا[7] و همکاران ۲۰۱۳، رمانو[8] و همکاران ۲۰۱۱، اگلسبی[9] و

1 Pacific Decadal Oscillation (PDO)
2 Suzan
3 Ajay
4 Gelcer
5 Alheit
6 Wachnicka
7 Shimoda
8 Romano
9 Oglesby

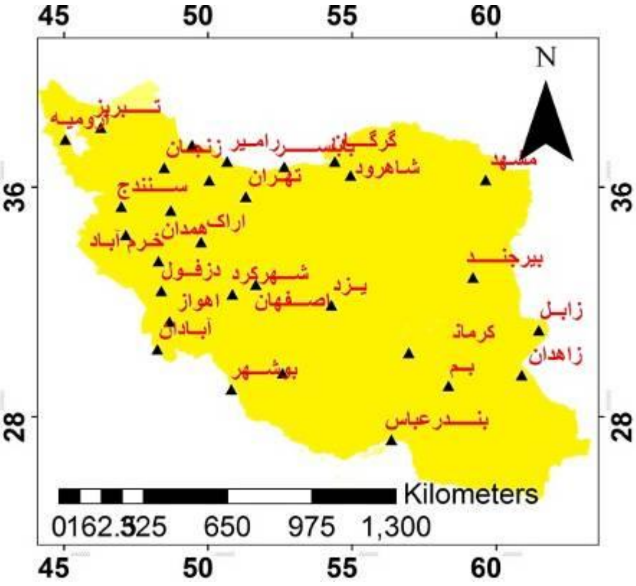
همکاران ۲۰۱۲، هوبر[1] و همکاران ۲۰۱۲، فریدل[2] ۲۰۱۲، رستریپو[3] ۲۰۱۳، ترمبلای[4] و همکاران ۲۰۱۱، اشاره نمود.در زمینه پژوهش‌های داخلی نیز می‌توان به پژوهش خوش اخلاق و همکاران (۱۳۷۷) در بررسی ارتباط شاخص انسو و بارش ایران اشاره نمود، که به‌ویژه در مورد رخداد خشکسالی همبستگی قوی را نشان داد. غیور و عساکره (۱۳۸۰) اثر نوسان اطلس شمالی و نوسانات جنوبی بر تغییرات میانگین ماهانه دمای جاسک را مؤثر ارزیابی نمودند. همچنین پژوهش خسروی و همکاران (۱۳۸۱) در مورد نقش انسو بر اقلیم جنوب شرق ایران نشان داد شاخص انسو با بارش‌های موسمی این منطقه ارتباط معنی‌داری دارد. ناظم السادات و قاسمی (۱۳۸۲) نیز تأثیر انسو را بر بارش شش ماهه سرد در ایران، و همچنین پژوهش خورشید دوست و قویدل رحیمی (۱۳۸۳) در مورد اثر انسو بر تغییر پذیری بارش‌های فصلی آذربایجان، و همچنین مسعودیان (۱۳۸٤) ارتباط بارش ایران را با شاخص چند متغیره انسو را مورد تحلیل قرار دادند، که در مجموع بر اساس نتایج کار ایشان ارتباط مناسبی بین شاخص انسو و بارش ایران دیده شد. در زمینه این پژوهش نیز اکبری و مسعودیان (۱۳۸٤) نقش الگوهای پیوند از دور نیمکره شمالی را بر دمای ایران مطالعه کردند و نشان دادند هیچ یک از شاخص‌های پیوند از دور نیمکره شمالی در این رابطه دارای رابطه معنادار و قابل اتکایی نیستند. علیزاده و همکاران (۱۳۹۰) در مدلسازی ارتباط الگوهای پیوند از دور با دما و بارش شهر مشهد به روش وایازی گام‌به‌گام نشان دادند در مقیاس ماهانه ارتباط این شاخص‌ها نسبت به مقیاس فصلی بیشتر است. قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی اثر الگوی نوسانی دریای شمال-خزر بر دمای بیشینه ایران به روش وایازی پرداختند، نتایج کار ایشان نشان داد، ارتباط قوی در اکثر ایستگاه‌ها (به‌ویژه در دوره سرد سال) با الگوی مورد مطالعه وجود دارد. همچنین قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹٤، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۲) به ترتیب اثر الگوی یاد شده را بر دمای کمینه ایران، بارش سواحل جنوبی دریای خزر، و بارش منطقه شمال غرب ایران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش‌های ایشان نشان‌دهنده رابطه معنی‌دار بین الگوی یاد شده و ناهنجاری‌های آب‌وهوایی در ایران بود. با توجه به پیشینه پژوهشی اشاره شده، تاکنون پژوهش گسترده‌ای در زمینه تحلیل ارتباط زمانی و مکانی ناهنجاری‌های دمایی تابستانه کل کشور با شاخص‌های پیوند از دور صورت نگرفته است.

۲. منطقه مورد مطالعه

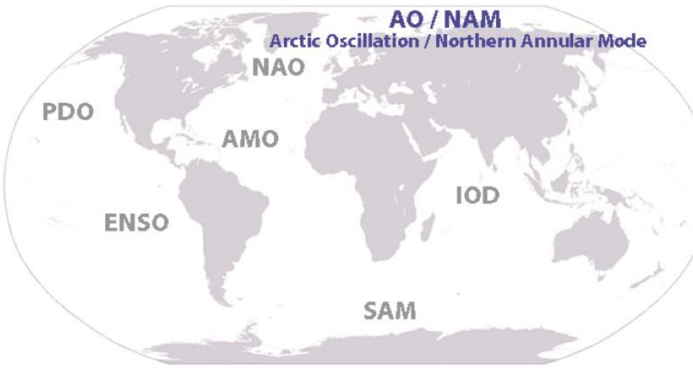
منطقه پژوهش شامل کل کشور ایران می‌باشد (شکل ۱). شکل۱ نقشه ایستگاه‌های همدید بکار گرفته شده در پهنه ایران را که دارای دوره آماری ۵۰ ساله داده (۱۹٦۱-۲۰۱۰) بوده‌اند را نشان می‌دهد، و همچنین شکل ۲ به صورت مختصر به موقعیت مکانی برخی از مهم‌ترین شاخص‌های بکار گرفته شده را بر روی نقشه نشان داده است.

---

1 Huber
2 Friedel
3 Restrepo
4 Tremblay



شکل ۱. نقشه پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل۲. نقشه جهانی و موقعیت برخی از شاخص‌های مورد مطالعه (منبع، حلبیان و محمدی۱۳۹۱)

۳. مواد و روش‌ها

در این پژوهش از دو پایگاه داده متفاوت شامل داده‌های ایستگاه‌های همدید کشور با دوره آماری ۵۰ ساله (۱۹۶۱–۲۰۱۰) و داده‌های شاخص‌های پیوند از دور جوی و اقیانوسی مرکز داده گواری NOAA وابسته به مرکز مطالعات جو و اقیانوس ایالات‌متحده استفاده گردید. با توجه به دوره آماری طولانی مدت (۵۰ ساله) تعداد ۳۰ ایستگاه در کل کشور که دارای دوره آماری مذکور بودند انتخاب گردیدند. در مرحله بعد با توجه به الگوی سالانه دما در کل پهنه ایران در طول فصل گرم به مدت ۵ ماه از ماه مه تا سپتامبر (به تقریب نیمه اردیبهشت تا نیمه مهرماه)

انتخاب و مقادیر دمای ماه‌های اشاره شده در هر ایستگاه به صورت مقدار استاندارد شـده شـاخص Z توسـط رابطـه ۱ تبدیل شد.

$$Z = \frac{(X-\bar{X})}{S}$$ رابطه (۱)

در رابطه بالا Z مقدار استاندارد شده دمای ماهانه، X و $\bar{X}$ به ترتیب دمای هرماه و متوسط دمای مـاه مـورد نظـر در طول دوره آماری و S مقادیر انحراف معیار ماه مذکور می‌باشد. در مرحله بعد جهت تعیین ناهنجاری‌هـای مـورد نظـر، تابع $0.5 > x > -0.5$ (در واقع ماه‌هایی که مقدار شاخص Z دمای آن‌ها از ۰،۵+ بیشـتر و یـا از ۰،۵- کمتـر باشـد) در نرم افزار اکسل تعریف و از بین ۲۵۰ ماه مورد مطالعـه مـواردی کـه ۲۰ ایسـتگاه از ۳۰ ایستگاه کشـور $(\frac{2}{3})$ دارای ناهنجاری بالا بودند (۵۷ مورد از ۲۵۰ ماه مورد بررسی در هر ایستگاه از ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰) بـه عنـوان ناهنجـاری فراگیـر دمای کشور در بازه ماهانه در فصل گرم در دوره مطالعاتی انتخاب شدند. سپس در مرحله بعـد بـا توجـه بـه گسسـته شدن داده‌ها در واقع از روش همبستگی پیرسون ارتباط ۵۷ ماه مورد بررسی در همه ایسـتگاه بـا هـر ۱۷ شـاخص بـه تفکیک محاسبه گردید. همچنین به‌منظور ارائه مدل وایازی شاخص‌های ارائه شده در مدل بـه روش پسـرو وارد شـده و بهترین شاخص‌ها جهت ارائه تابع مورد نظر معرفی شده‌اند. جهت اطمینان از چگـونگی عملکـرد مـدل وایـازی بـا استفاده از داده‌های واقعی و مدل‌سازی شده عملکرد مدل با استفاده از آماره‌های برآورد خطا مورد بررسی قـرار گرفتـه است.

جدول۱. شاخص‌های جوی و اقیانوسی استفاده شده در این پژوهش

۱	شاخص دمای سطحی بخش شرقی اقیانوس آرام	NINO3	۱۰	شاخص اقیانوسی نینو	ONI
۲	شاخص نوسانات جنوبی	SOI	۱۱	شاخص دمای سطحی بخش شمالی اقیانوس اطلس	NTA
۳	نوسانات اقیانوس اطلس شمالی	NAO	۱۲	شاخص دمای آب در منطقه کارائیب	CAR
٤	شاخص اقیانوس آرام امریکای شمالی	PNA	۱۳	شاخص انسو چند متغیره	MEI
۵	شاخص دمای سطحی شدید بخش شرقی اقیانوس ارام استوایی	NINO1+2	۱٤	سری زمانی انسو دو متغیره	BEST
٦	شاخص دمای سطحی بخش مرکزی شرق اقیانوس آرام استوایی	NINO3.4	۱۵	نوسان قطب شمال	AO
۷	شاخص دمای سطحی بخش مرکزی اقیانوس آرام استوایی	NINO4	۱٦	متوسط دمای جهانی	G. M.TEMPE RATURE

ادامه جدول ۱

۸	شاخص بلوکینگ گرینلند	GBI[1]	۱۷	شاخص استخر گرم اقیانوس آرام	Pacific Warm Pool
۹	نوسان اقیانوس آرام شرقی	EPO			

سنجش عملکرد مدل

خطای جذر میانگین مربعات یا انحراف جـذر میـانگین مربعـات (RMSE[2]) و میـانگین خطـای بایـاس (MBE[3]) اختلاف مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل آماری و مقدار واقعـی اسـت. RMSE و MBE ابـزار خـوبی بـرای مقایسـه خطاهای پیش‌بینی توسط یک مدل می‌باشند، ازاین‌رو در این پژوهش با اسـتفاده از روابـط زیـر (رابطـه ۱و ۲) مقـادیر مربوط به صحت سنجی عملکرد مدل مورد آزمون قرار گرفته است.

$$RMSE = [\frac{\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2}{N}]^{\frac{1}{2}}$$ رابطه ۱:

$$MBE = \frac{\sum_{1}^{n}(P_i - O_i)}{n}$$ رابطه ۲:

در این معادلات P_i مقدار برآورد شده توسط مدل، O_i مقـدار انـدازه‌گیـری‌شـده فراسـنج مربوطـه و n تعـداد مشاهدات می‌باشد. حد پایین RMSE و MBE صفر بوده و مقدار آن بیانگر این است که مقادیر پیش‌بینی شـده چقـدر از مقادیر مشاهده شده انحراف دارد (لازار،۲۰۰۸).

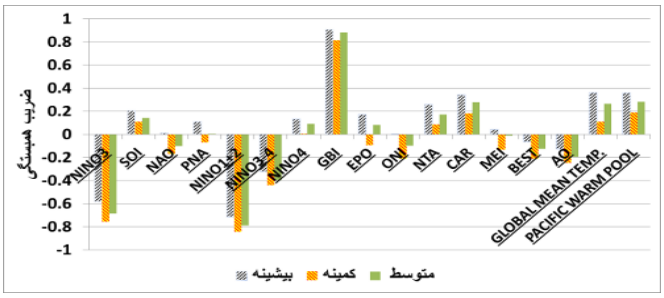
٤. بحث و نتایج

با توجه به وسعت مباحث پژوهش حاضر، یافته‌های مهم موضوع بحـث در سـه بخـش ارائـه گردیـده اسـت. در بخش اول رابطه هریک از شاخص‌ها در چهار گام زمانی متفاوت از ماه همزمان تا سه ماه جلوتر در قالب نمـودار و بـه صورت کمینه بیشینه و متوسط همه ایستگاه‌ها ارائه شده است. در بخش دوم با استفاده از روش وایازی چنـد متغیـره و با روش پسرو توابع مربوطه در چهار گام زمانی اشاره شده مورد بررسی قرار می‌گیرند. و در بخش سـوم پـژوهش نیـز عملکرد توابع وایازی با استفاده از روش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

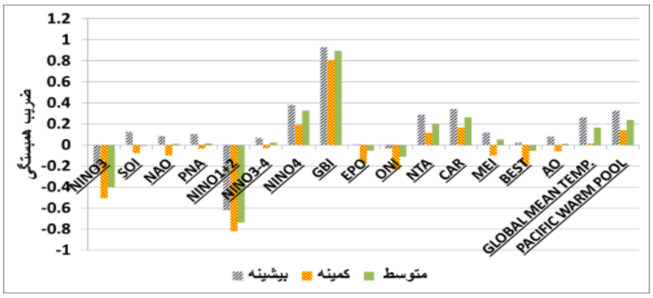
---
1 Greenland Blocking Index
2 Root Mean Square Error
3 Mean Bias Error

الف) ارتباط شاخص‌های پیوند از دور و ناهنجاری دمای تابستانه ایران

شکل‌های ۳ تا ٦ مقادیر ضریب همبستگی ۱۷ شاخص مورد مطالعه را به سه شکل کمینه، بیشینه و متوسط ضریب همبستگی ناهنجاری دمای ایستگاه‌های کل کشور؛ در چهار گام زمانی متفاوت که قبلاً بحث گردید را ارائه کرده‌اند. در شکل۳ که مقادیر به صورت ماه همزمان محاسبه شده است، شاخص GBI بیشترین همبستگی معنادار مستقیم و شاخص‌های NINO3، NINO1+2 و NINO3.4 به ترتیب دارای بیشترین رابطه وارون معنادار با ناهنجاری‌های کل کشور می‌باشند. مقادیر همبستگی دیگر شاخص‌ها با توجه به پایین بودن ضریب اطمینان آن‌ها قابل توجه نمی‌باشد. شکل ٤ متوسط، کمینه و بیشینه R همبستگی ایستگاه‌های کشور را با شاخص‌های مورد مطالعه با یک گام زمانی جلوتر را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج بدست آمده شاخص NINO3 و NINO1+2 به ترتیب کمترین و بیشترین همبستگی وارون معنی دار را بدست آورده‌اند و شاخص NINO4 و GBI نیز به همین شکل همبستگی مستقیم را تبیین کرده‌اند. با توجه به پایین بودن مقادیر همبستگی شاخص NINO4 در متوسط کشور (۰,۲) می‌توان از مقادیر این شاخص نیز چشم پوشی کرد (شکل٤). در شکل ۵ نیز مقادیر متوسط، کمینه و بیشنه همبستگی ناهنجاری دمای ایستگاه‌های کشور با شاخص‌ها مورد مطالعه با دو گام زمانی زودتر محاسبه و نشان داده شده است. بر این اساس به میزان محسوسی (بین ۰,۰۵ تا ۰,۲) از مقادیر همبستگی‌ها کاسته شده، اما با این وجود مقادیر همبستگی بالایی همچنان وجود دارد. برای مثال بیشینه ارتباط ایستگاه‌های کشور با شاخص NINO1+2 در حدود ۰,٦- و یا با شاخص GBI در حدود ۰,۷۵ تا ۰,۸۷ است. به طور کلی در این گام زمانی (دوماه پیش‌تر) دو شاخص GBI و NINO1+2 موثرترین شاخص‌های جوی-اقیانوسی به‌منظور تبیین ناهنجاری‌های دمایی تابستانه ایران می‌باشند. به‌منظور تبیین توان همبستگی شاخص‌های مورد مطالعه با ناهنجاری‌های دمایی ماهانه فصل گرم ایران با سه گام زمانی پیشتر از مقادیر شکل ٦ می‌توان استفاده کرد. با توجه به اینکه در این شرایط ارتباط با یک فاصله سه ماهه محاسبه شده است، با این وجود روابط بدست آمده نسبتاً قوی و قابل توجه می‌باشد. در این راستا هیچ یک از شاخص‌های مطالعه شده، رابطه معنادار وارون با ناهنجاری‌های مورد مطالعه در ایستگاه‌های ایران ندارند؛ بر این اساس شاخص‌هایی که در گام‌های زمانی قبل ارتباط عکس را بدست آورده بودند، در این فاصله زمانی دارای همبستگی مثبت و عمدتاً قوی می‌باشند. بیشترین میزان همبستگی مربوط به شاخص GBI می‌باشند که دامنه نوسان ارتباط آن با ایستگاه‌های کشور بین ۰,٤۳ تا ۰,۷٦ است و برای کل کشور به طور متوسط حدود ۰,٦۲ می‌باشد. شاخص NINO3 در این رابطه دارای رتبه دوم همبستگی با کمینه حدود ۰,٤ تا بیشینه ۰,٦ و متوسط ۰,۵٦ می‌باشد. لازم به ذکر است دیگر شاخص‌ها نیز تا حدودی توانسته‌اند همبستگی نسبتاً مناسبی با فاصله زمانی سه ماهه با ایستگاه‌های ایران داشته باشند که ازجمله می‌توان به شاخص‌های NINO1+2، NINO3.4 و G.M.T. اشاره کرد.



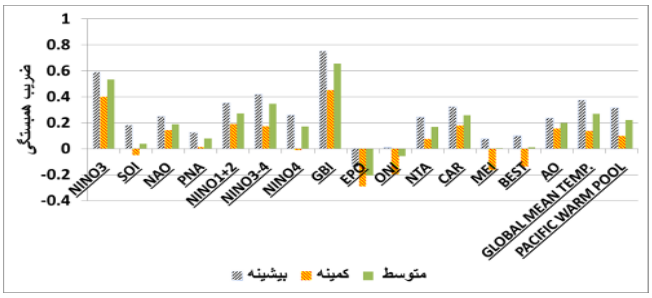
شکل ۳. مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط ضریب همبستگی شاخص‌های مورد مطالعه با ناهنجاری‌های ایستگاه مورد مطالعه در کشور در ماه همزمان



شکل ٤. مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط ضریب همبستگی شاخص‌های مورد مطالعه با مقادیر استاندارد شده دمای ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور در یک گام (ماه) زمانی جلوتر



شکل ۵. مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط ضریب همبستگی شاخص‌های مورد مطالعه با مقادیر استاندارد شده دمای ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور در دو گام (ماه) زمانی جلوتر



شکل ٦. مقادیر کمینه، بیشینه و متوسط ضریب همبستگی شاخص‌های مورد مطالعه با مقادیر استاندارد شده دمای ماهانه ایستگاه‌های کل کشور در سه گام (ماه) زمانی جلوتر

ب) بررسی توابع وایازی ارتباط شاخص‌ها و ناهنجاری‌های دمایی ایران

به‌منظور دستیابی به مدل وایازی خطی مناسب در زمینه ارتباط ناهنجاری‌های دمایی ایران و شاخص‌های مورد مطالعه از روش وایازی خطی چندمتغیره با روش پسرونده استفاده شده که در طی آن ۸ شاخص (PACEFIC WARM POOL, NINO 3-4, GLOBAL MEAN TEMP., GBI, NINO4, CAR, NINO3, NINO 1+2) که دارای مقادیر بیشتر معناداری با ایستگاه‌های کشور بودند، به عنوان متغیر مستقل و متوسط دمای کل کشور در ماه‌های دارای ناهنجاری به عنوان متغیر وابسته به مدل وارد شده که نتایج آن در ادامه ارائه شده است. لازم به ذکر است با توجه به شرایط مدل‌سازی که در چهارگام زمانی مجزا انجام شده، نتایج مدل‌سازی وایازی و معادله خطی این ارتباط در چهار بازه مورد مطالعه به صورت خلاصه بحث و ارائه شده است.

۱. مدل‌سازی با گام زمانی همزمان ماهانه

جدول ۳ تا ٦ نتایج مدل‌سازی با گام زمانی همزمان را برای شاخص‌های مورد مطالعه و متوسط دمای ایران در ماه‌های ناهنجار نشان داده شده است. در جدول ۳ خلاصه‌ای از ویژگی‌های این مدل‌سازی ضریب همبستگی و تعیین و خطای استاندارد در گام ششم (مدل بهینه) ارائه شده است. بر این اساس مدل ارائه شده نهایی برای این بازه زمانی دارای همبستگی ۰/۹٤۷ و ضریب تعیین ۰/۸۹ و میزان خطای استاندارد ۱/٦٦ می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده بهترین شاخص‌های بکار گرفته شده جهت مدل‌سازی وایازی چندمتغیره در این شرایط شامل متوسط دمای جهانی، شاخص بلوکینگ گرینلند و شاخص NINO1+2 می‌باشد. جدول٤ به بررسی تحلیل واریانس مدل‌سازی در مرحله ششم پرداخته که با توجه به مقدار sig که برابر با ۰/۰۰۰ و کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد، فرض صفر مبنی بر عدم ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته رد می‌شود، و مدل‌سازی صحیح می‌باشد. جدول٥ ضرایب متغیرها (شاخص‌ها) را در شرایط بهینه مدل‌سازی مرحله ششم را ارائه کرده است، که از این ضرایب به‌منظور تدوین رابطه خطی الف استفاده شده است. همچنین مقادیر sig و دیگر ضرایب مربوط به متغیرهای حذف شده از جریان مدل‌سازی در مرحله ششم آورده شده که همگی آن‌ها مقدار sig بیش از ۰/۰۵ را داشته‌اند.

رابطه الف:

$$\text{Anomaly Temp. Av. Mon. IRAN (summer)M} = -93.707+ (\text{NINO1+2}*(-1.045)) + (\text{GBI}*0.026) + ((\text{GLOBAL MEAN TEMP.}*0.029)$$

جدول ۳. خلاصه مدل (Model Summary) در مدل‌سازی همگام

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
6	.947[f]	.897	.891	1.6656821

جدول٤. تحلیل واریانس (ANOVAa) در مدل‌سازی همگام

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
6	Regression	1227.131	3	409.044	147.430	.000g
	Residual	141.499	51	2.774		
	Total	1368.630	54			

جدول ٥. ضرایب متغیر (Coefficients[a]) در مدل‌سازی همگام

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
6	(Constant)	-93 707	21.836		-4.291	.000
	NINO 1+2	-1.045	.176	-.425	-5.954	.000
	GBI	.026	.003	.558	7.558	.000
	GLOBAL MEAN TEMP.	029	.010	.152	3.017	.004

جدول ٦. متغیرهای خارج شده (Excluded Variablesa) در مدل‌سازی همگام

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
6	NINO3	.089[f]	.952	.346	.133	.232
	NINO4	.064[f]	1.443	.155	.200	1.000
	PACEFIC WARM POOL	.008[f]	.159	.874	.022	.762
	CAR	.044[f]	.900	.373	.126	.851
	NINO 3-4	.080[f]	1.501	.140	.208	.690

۲. مدل‌سازی با یک گام زمانی (ماه) پیش‌تر

این مدل‌سازی که به‌منظور ارائه رابطه وایازی با یک ماه پیش یابی ناهنجاری متوسط دمای ایران انجام شده، در پنج مرحله به اجرا در آمده که در نهایت بر اساس مقادیر جدول۷ با ضریب R برابر با ۰٫۹٤۸ و ضریب تعیین ۰٫۸۹ و با چهار شاخص (GBI, GLOBAL MEAN TEMP., NINO 1+2, NINO3) مدل بهینه وایازی خطی را در این رابطه ارائه کرده است. تحلیل واریانس گام پنجم مدل‌سازی در جدول ۸ نیز عملکرد مناسب روابط را با توجه به پایین بودن مقدار sig نشان می‌دهد و ضرایب متغیرهای بکار گرفته شده در مدل نهایی (بهینه) در گام پنجم و مقدار sig آن‌ها در جدول ۹ نشان داده شده است. بیشترین مقدار sig مربوط به شاخص NINO3 و متوسط دمای جهانی بوده است. بر اساس ضرایب B متغیرها در این جدول رابطه ب به‌منظور پیش یابی یک ماهه ناهنجاری‌های متوسط ایستگاه‌های کشور بر اساس چهار شاخص اشاره شده ارائه گردیده است و در جدول ۱۰ نیز مقدار و ضرایب متغیرهای حذف شده از جریان مدل‌سازی با توجه به بالا بودن مقدار sig آن‌ها ارائه شده است.

رابطه ب:

Anomaly Temp. Av. Mon. IRAN(summer)M-1= -96.640+ (NINO3*1.645)+ (NINO1+2*-1.487)+ (GBI*0.021)+ (GLOBAL MEAN TEMP.*0.034)

جدول۷. خلاصه مدل (Model Summary) در مدل‌سازی با یک گام جلوتر

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
5	.948e	.899	.891	1.6594168

جدول ۸. تحلیل واریانس (ANOVAa) در مدل‌سازی با یک گام جلوتر

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
5	Regression	1230.947	4	307.737	111.755	.000f
	Residual	137.683	50	2.754		
	Total	1368.630	54			

جدول۹. ضرایب متغیر (Coefficientsa) در مدل‌سازی با یک گام جلوتر

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
5	(Constant)	-96.640	18.901		-5.113	.000
	NINO3	1.645	.488	.298	3.370	.001
	NINO 1+2	-1.487	.344	-.573	-4.327	.000
	GBI	.021	.003	.603	6.818	.000
	GLOBAL MEAN TEMP.	.034	.009	.185	3.672	.001

جدول ۱۰. متغیرهای حذف شده (Excluded Variablesa) در مدل‌سازی با یک گام جلوتر

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
5	NINO 3-4	-.136e	-1.338	.187	-.188	.193
	CAR	.036e	.603	.549	.086	.559
	PACEFIC WARM POOL	.059e	.811	.421	.115	.389
	NINO4	-.089e	-1.473	.147	-.206	.536

۳. مدل‌سازی به دو گام زمانی پیشتر

در جدول۱۱ مشخصات انجام شده با هشت شاخص اصلی اشاره شده در بخش‌های قبلی آورده شده است. با توجه به طولانی شدن زمان در بازه دو ماهه ارتباط مقادیر شاخص و متوسط ناهنجاری دمای کشور، از مقادیر R مدل وایازی اندکی کاسته شده اما در هر صورت ضریب آن بالاست و بیشتر از ۰٫۹۱۶ می‌باشد. مربع R برابر با ۰٫۸۳۹ و

ضریب تعیین R حدود ۰٫۸۲۳ و با ضریب خطای استاندارد ۲٫۱۱ در مرحله چهارم مدل‌سازی و بر اساس مقادیر ۶ شاخص (GBI, NINO4, NINO3, GLOBAL MEAN TEMP., NINO1+2, NINO 3-4) این مدل‌سازی انجام شده است. مقادیر تحلیل واریانس ضمن تأیید عملکرد مدل فرض صفر را رد می‌نماید (جدول ۱۲) و در جدول ۱۳ ضرایب و مشخصات مدل برای گام نهایی اجرا برای بازه زمانی مورد مطالعه آورده شده است، که مقادیر B برای ارائه رابطه ج استفاده شده و مقادیر sig نیز قابلیت نسبتاً" بالای مدل اجرا شده و شاخص‌های بکار گرفته شده در این رابطه را نشان می‌دهد. ضمن اینکه سه شاخصی که از جریان مدل‌سازی در این بازه حذف شده‌اند نیز همراه با مشخصات آماری آن‌ها در گام چهارم اجرا و به‌ویژه مقدار sig آن‌ها در جدول۱۴ آورده شده است. نکته قابل تأمل حذف شاخص متوسط دمای جهانی از فرایند مدل‌سازی در این گام زمانی می‌باشد، که در گام‌های قبلی یکی از ارکان مدل‌سازی به‌حساب می‌آمد اما از آنجا که در این بازه نتوانسته واریانس متغیر وابسته را به خوبی از دو ماه جلوتر برآورد نماید، از جریان مدل‌سازی حذف شده است.

رابطه ج:

Anomaly Temp. Av. Mon. IRAN(summer)M-2= -121.702+(NINO3*09.384)+(NINO1+2*(-(2.502))+(NINO3-4*(-9.648))+(NINO4*4.624)+(GBI*0.017)

جدول ۱۱. خلاصه مدل (Model Summary) در مدل‌سازی با دو گام جلوتر

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
4	.916[d]	.839	.823	2.1199982

جدول ۱۲. تحلیل واریانس (ANOVAa) در مدل‌سازی با دو گام جلوتر

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
4	Regression	1148.405	5	229.681	51.104	.000e
	Residual	220.225	49	4.494		
	Total	1368.630	54			

جدول۱۳. ضرایب متغیر (Coefficientsa) در مدل‌سازی با دو گام جلوتر

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
4	(Constant)	-121.702	24.096		-5.051	.000
	NINO3	9.384	1.716	1.655	5.467	.000
	NINO 1+2	-2.502	.489	-.747	-5.115	.000
	NINO 3-4	-9.648	2.265	-1.729	-4.260	.000
	NINO4	4.624	1.521	.637	3.040	.004
	GBI	.017	.003	.504	4.832	.000

جدول ۱۴. متغیرهای حذف شده (Excluded Variables[a]) در مدل‌سازی با دو گام جلوتر

Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
4	CAR	.027d	.404	.688	.058	.728
	PACEFIC WARM POOL	.053d	.743	.461	.107	.641
	GLOBAL MEAN TEMP.	.108d	1.582	.120	.223	.684

۴. مدل‌سازی به سه گام زمانی پیشتر

به‌منظور ارائه مدل پیش یابی سه ماهه نیز از همان ۸ شاخص منتخب و روش وایازی خطی یک وارد استفاده شده که خلاصه نتایج مدل‌سازی در جدول ۱۵ ارائه شده است. بر این اساس مدل بهینه به‌منظور ارتباط سه ماه پیشتر با ناهنجاری‌های دمایی ایران شامل شاخص‌های (GBI, NINO4, NINO 1+2, NINO3, NINO 3-4) بوده است، که این مدل توانسته تا ۰٫۸۹ واریانس داده‌های متوسط دنای ایران در ماه‌های ناهنجار را تبیین نماید. مربع R مدل و ضریب تعیین آن به ترتیب ۰٫۸ و ۰٫۷۸ بوده که عملکرد مشترک این پنج شاخص در مدل‌سازی اشاره شده را تأیید می‌نماید. پایین بودن ضریب sig در جدول تحلیل واریانس مدل‌سازی نیز موید همین امر می‌باشد. مقادیر sig در جدول۱۷ عملکرد مناسب شاخص‌ها را نشان داده که از بین شاخص‌های انتخابی مدل در گام نهایی، شاخص NINO1+2 و NINO4 نسبت به دیگر شاخص‌ها در این زمینه ضعیف‌تر می‌باشند. جدول ۱۸ نیز ویژگی‌های شاخص‌های حذف شده را در پنج مرحله مدل‌سازی را نشان داده است. با توجه به مقادیر و ضرایب جدول۱۷ رابطه وایازی خطی تهیه و ارائه شده است.

رابطه د:

Anomaly Temp. Av. Mon. IRAN(summer)M-3 =-114.572+ (NINO3*11.523)+ (NINO1+2*(-1.525))+(NINO3-4*(-13.054))+(NINO4*5.072)+(GBI*0.015)

جدول ۱۵. خلاصه مدل (Model Summary) در مدل‌سازی با سه گام جلوتر

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
4	.896[d]	.802	.782	2.3506795

جدول۱۶. تحلیل واریانس (ANOVAa) در مدل‌سازی با سه گام جلوتر

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
4	Regression	1097.871	5	219.574	39.737	.000e
	Residual	270.759	49	5.526		
	Total	1368.630	54			

جدول ۱۷. ضرایب متغیر (Coefficientsa) در مدل‌سازی با سه گام جلوتر

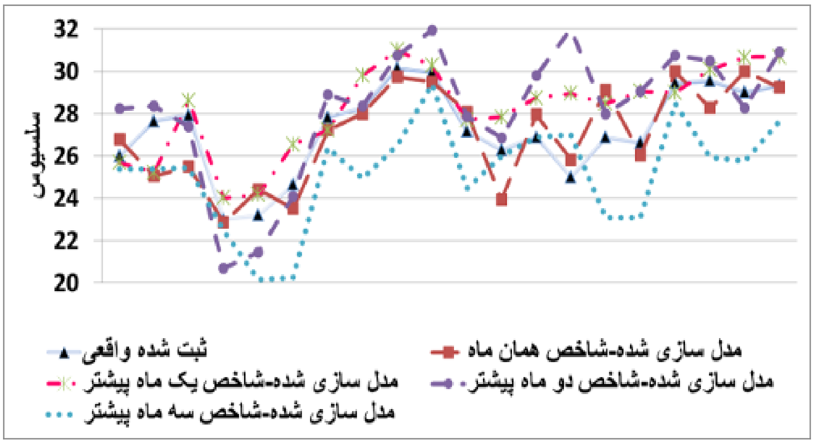
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
4	(Constant)	-114.572	22.997		-4.982	.000
	NINO3	11.523	1.782	2.863	6.466	.000
	NINO 1+2	-1.525	.583	-.396	-2.616	.012
	NINO 3-4	-13.054	2.265	-2.923	-5.763	.000
	NINO4	5.072	1.525	.748	3.326	.002
	GBI	.015	.004	.375	3.754	.000

جدول۱۸. متغیرهای حذف شده (Excluded Variablesa) در مدل‌سازی با سه گام جلوتر

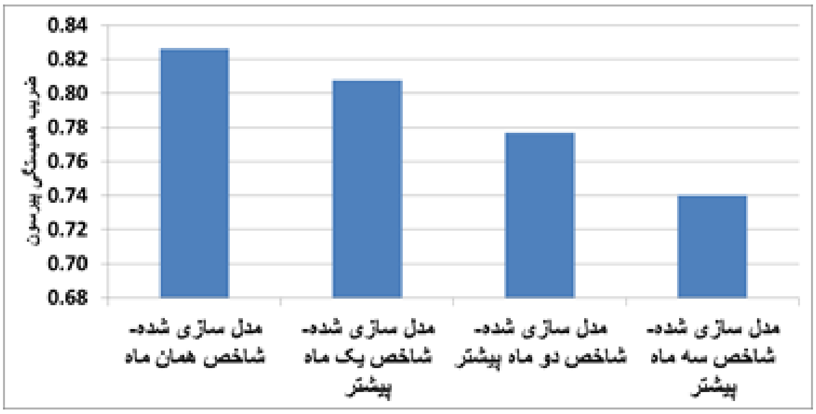
Model		Beta In	t	Sig.	Partial Correlation	Collinearity Statistics
						Tolerance
4	PACEFIC WARM POOL	-.014d	-.188	.852	-.027	.716
	GLOBAL MEAN TEMP.	.003d	.039	.969	.006	.651
	CAR	-.048d	-.624	.535	-.090	.696

ج) ارزیابی عملکرد توابع وایازی تولید شده

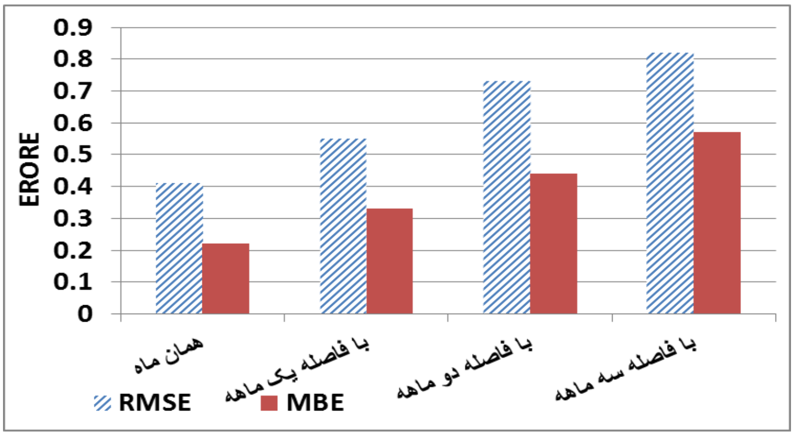
در شکل۱۸ مقادیر متوسط دمای ایران در ۲۰ مورد ماه فصل گرم دارای ناهنجاری که به تصادف بین ۵۷ مورد مطالعاتی انتخاب شده بود، با مقادیر واقعی متوسط ایستگاه‌های سراسر کشور بر روی نمودار آورده شده است. در شکل ۱۹ نیز همبستگی مقادیر مدل‌سازی و واقعی در چهار گام زمانی مختلف آورده شده است. و همچنین در شکل ۲۰ نتایج ارزیابی عملکرد توابع ارائه شده در چهار گام زمانی (همزمان، ۱ و ۲ و ۳ ماه پیشتر) بر اساس شاخص‌های سنجش خطا RMSE و MBE ارائه شده است. بر اساس نتایج مدل‌سازی همبستگی از ماه همزمان تا گام چهارم مدل‌سازی به کاهش یافته، که نشان دهنده کاهش اعتماد مدل‌سازی می‌باشد. در مجموع بررسی شکل‌های ارائه شده نشان می‌دهد عملکرد مدل با میزان اریبی کمی به‌ویژه در بازه ماه‌های همزمان، یک و دو ماه پیشتر قابل پذیرش می‌باشد. بدیهی است که با افزایش فاصله زمانی (log time) بین مقادیر محاسباتی و واقعی میزان خطای مدل افزایش می‌یابد (شکل۲۰)، ازاین‌رو صحت عملکرد توابع ارائه شده در بازه‌های نزدیک‌تر بیشتر مورد اطمینان می‌باشد.



شکل ۷. مقادیر واقعی و مدل‌سازی شده در ۲۰ ماه تصادفی



شکل ۸. ضریب همبستگی داده‌های مدل‌سازی شده و واقعی در ۲۰ مورد تصادفی



شکل۹. مقادیر عددی میزان خطای عملکرد مدل در بیست درصد داده‌های آزمون در ٤ گام زمانی از ماه همزمان تا برآورد سه ماهه پیش‌تر

۵. نتیجه‌گیری

دمای هوا در پهنه ایران با شاخص‌های پیوند از دور ارتباط معنی‌داری را نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش مشابه نتایج پژوهش‌های قبلی (پژوهش‌های علیزاده و همکاران، قویدل رحیمی و همکارن)[۱] بیانگر ارتباط معنی دار شاخص‌های پیوند آر دور با دمای هوا در پهنه ایران می‌باشد. بر اساس یافته‌های این پژوهش برخی از شاخص‌های مطالعه شده ارتباط معنی دار و قوی را با ناهنجاری‌های دمایی تابستانه ایران دارند، این شاخص‌ها توانایی نسبتاً" مناسبی در جهت پیش یابی یک، دو و سه ماهه نابسامانی دمای تابستانه کشور دارند. در این زمینه با توجه به آزمون‌های به عمل آمده با ایستگاه‌های مورد مطالعه در پهنه ایران به طور کلی NINO3، NINO1+2، NINO3.4، NINO4، GBI، CAR، PACEFIC WARM POOL و GLOBAL MEAN TEMP. شاخص‌هایی بوده‌اند که با بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پژوهش همبستگی معنی دار در سطح اعتماد ۹۰٪ و بیشتر داشته‌اند.

به لحاظ زمانی در محاسبات با گام‌های زمانی همزمان ماهانه با ایستگاه‌های کشور قوی‌ترین شاخص‌ها به ترتیب GBI، NINO1+2، NINO3 و NINO3.4 با میزان همبستگی به ترتیب ۰/۸+، ۰/۸–، ۰/۵۷– و ۰/٤– بوده‌اند. در زمینه یک گام زمانی پیشتر نیز شاخص GBI، NINO1+2 و NINO3 به ترتیب و به طور متوسط با ۰/۸+، ۰/۸– و ۰/۵– بالاترین مقادیر همبستگی را داشته‌اند. در زمینه دو گام زمانی جلوتر نیز شاخص GBI و NINO1+2 و در زمینه سه گام زمانی پیشتر شاخص GBI، NINO3، NINO1+2 و NINO3.4 به تقریب با همبستگی بین ۰/۲۵ تا ۰/٤ با ناهنجاری‌های دمایی ایران رابطه نشان دادند.

الگوی زمانی اثرگذاری برخی از شاخص‌ها مانند NINO که در ماه همزمان عمدتاً" قوی و وارون بود، در گام‌های زمانی دو و سه ماه پیشتر به صورت مستقیم و معنی دار در می‌آید. بر اساس نتایج بدست آمده از مدل‌سازی وایازی چندمتغیره ارتباط شاخص‌های پیوند از دور مطالعه شده و ناهنجاری‌های دمایی ایران در فصل گرم، در ماه همزمان شاخص‌های GLOBAL MEAN TEMP., GBI, NINO 1+2، با میزان همبستگی چند متغیره ۰/۹٤ بهترین پیش‌بینی کننده‌های اقلیم دمایی ایران هستند، و در گام زمانی یک ماه پیشتر نیز به شاخص‌های قبل شاخص NINO3 افزوده می‌شود و مجدداً با همبستگی ۰/۹٤ ارتباط دارد،؛ و در گام زمانی دو ماه جلوتر به ترتیب شاخص‌های GBI, NINO4, NINO3, GLOBAL MEAN TEMP., NINO 1+2, NINO 3-4 و همچنین در گام زمانی سه ماه پیشتر شاخص‌های GBI, NINO4, NINO 1+2, NINO3, NINO 3-4 بهترین شاخص‌های جوی و اقیانوسی پیش‌بینی کننده ناهنجاری دمای ایران محسوب می‌شوند. لازم به ذکر است هر چه بازه زمانی پیش‌بینی طولانی‌تر می‌شود ظاهراً از اهمیت شاخص‌های جوی کاسته و بر تعداد و ضریب اهمیت شاخص‌های اقیانوسی افزوده می‌گردد. در مجموع با استفاده از شاخص‌های اشاره شده و به روش وایازی خطی چند متغیره در هر گام زمانی (همزمان، یک، دو و سه ماه

---

۱ به پیشینه پژوهش مراجع شود

پیشتر) یک تابع وایازی خطی برای ارتباط شاخص‌ها و ناهنجاری ماهانه متوسط دمای ایران ارائه گردیده است، که به‌وسیله آن می‌توان تغییرات دمایی ایران را تبیین و پیش‌بینی کرد. همچنین صحت عملکرد این توابع با استفاده از مطابقت و همبستگی داده‌های واقعی و مدل‌سازی شده تا حد مناسبی تأیید شده است. در پایان لازم است اشاره گردد توابع ارائه شده در این پژوهش برای ناهنجاری‌های متوسط دمای همه ایستگاه‌های مطالعاتی بوده و بهتر است برای بکارگیری آن برای هر ایستگاه این روابط توسط داده‌های ایستگاه هدف اصلاح شوند.

کتابنامه

اکبری، طیبه؛ ١٣٨٤. شناسایی نقش الگوهای پیوند از دور نیمکره شمالی بر دمای ایران. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد اقلیم شناسی. دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه اصفهان.

چهرآرا ضیابری، تهمینه؛ ١٣٩١. بررسی مراکز فشار مؤثر بر اقلیم ایران طی فازهای NAO وSOI ، پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی. دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

حلبیان، امیرحسین؛ محمدی، بختیار؛ ١٣٩٠. ارتباط دمای ماهانه چند ایستگاه نمونه ایران با شاخص‌های مختلف انسو. فصلنامه علمی و پژوهشی فضای جغرافیایی. شماره ٣٨،١-٣٩.

خسروی، محمود؛ ١٣٨١. پدیده انسو (ENSO) و تغییرپذیری اقلیم جنوب شرق ایران. پایان نامه دوره دکتری اقلیم شناسی. دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه اصفهان.

خورشید دوست، علی محمد؛ قویدل‌رحیمی، یوسف؛ ١٣٨٣. ارزیابی اثر پدیده انسو بر تغییرپذیری بارش‌های فصلی استان آذربایجان شرقی با استفاده از شاخص چند متغیره انسو. مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ٥٥. ٢٦-١٥ .

خوش اخلاق، فرامرز؛ ١٣٧٧. پدیده انسو و تأثیر آن بر رژیم بارش ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. سال سیزدهم. شماره٥١. ١٢١-١٣٩ .

عساکره، حسین؛ ١٣٨٦. بررسی آماری روند دمای سالانه تبریز، مجله اندیشه جغرافیایی. شماره اول. ٩-٢١

علیزاده، امین؛ عرفانیان، مریم و حسین انصاری؛ ١٣٩٠. بررسی الگوهای پیوند از دور مؤثر بر پارامترهای بارش و دما (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ٢، ١٧٦-١٨٥.

غیور، حسینعلی؛ عساکره، حسین؛ ١٣٨٠. مطالعه اثر پیوند از دور بر اقلیم ایران مطالعه موردی: اثر نوسانات اطلس شمالی و نوسانات جنوبی بر تغییرات میانگین ماهانه دمای جاسک. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ٦٩، ٩٣-١١٣.

قویدل رحیمی، یوسف؛ حاتمی، داریوش؛ رضایی، محمد؛ ١٣٩٢. نقش الگوی پیوند از دور جو بالای دریای شمال-خزر در تغییرات زمانی بارش سواحل جنوبی دریای خزر. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. شماره ٣١. ٤٦-٢٩.

قویدل رحیمی، یوسف؛ فرج زاده اصل، منوچهر؛ حاتمی زرنه، داریوش؛ ١٣٩٥. نقش اثرات الگوی پیوند از دور دریای شمال-خزر در نوسان پذیری دماهای بیشینه ایران، جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ٢٠، شماره ٥٦، ٢٣٩-٢٥٥.

قویدل رحیمی، یوسف؛ فرج زاده، منوچهر؛ حاتمی زرنه، داریوش؛ ١٣٩٤. تحلیل رابطه پیوند از دور بین الگوی دریای شمال–خزر و دماهای حداقل ایران، فضای جغرافیایی، شماره ٥٢، ١٥٩–١٣٧.

قویدل رحیمی، یوسف؛ فرج زاده، منوچهر؛ کاکاپور، سعید؛ ١٣٩٣. نقش الگوی پیوند از دور دریای شمال–خزر در نوسانات بارش-های پاییزی مناطق شمال غرب و غرب ایران، مجله جغرافیا و برنامه-ریزی، شماره ٤٩، ٢٣٠–٢١٧

مسعودیان، ابوالفضل؛ ١٣٨٤. ارتباط بارش ایران با انسو. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. شماره٤.

ناظم السادات، محمدجعفر؛ قاسمی، احمدرضا؛ ١٣٨٢. بارندگی شش ماهه سرد مناطق مرکزی و جنوب غربی ایران و ارتباط آن با پدیده النینو نوسانات جنوبی، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال هفتم. شماره سوم. ١– ١٣.

Ajay, K., Ahmad, S., & Nayak, A., 2013. Forcing of hydroclimatic variability in the northwestern Great Plains since AD 1406. *Quaternary International, 310,* 47-61.

Alheit, J., & Bakun, A.., 2013. Effects of El Niño Southern Oscillation on the space–time variability of Agricultural Reference Index for Drought in midlatitudes. *Agricultural and Forest Meteorology, 174,* 110-128.

Cai, W., Whetton, P.H., & Pittock, A.B., 2001. Fluctuations of the relat ionship between ENSO and northeast Australian rainfall. *Climate Dynamics, 17,* 421-432.

Gelcer, E., Fraisse, C., Dzotsi, K., Hu, Z., Mendes, R., L., & Zotarelli, L., 2013. Increasing streamflow forecast lead time for snowmelt-driven catchment based on large-scale climate patterns. *Advances in Water Resources, 53,* 150-162.

Hans W., Andrea-Seim, L., Ou, T., Jeong, J., Liu, Y., Wang, X., Bao, G., & Folland, C., 2013. Exploring teleconnections between the summer NAO (SNAO) and climate in East Asia over the last four centuries – A tree-ring perspective. *Dendrochronologia, 31, 4,* 297-310.

Huber, S., & Fensholt, R., 2012. The role of the Atlantic Multidecadal Oscillation on medieval drought in North America: Synthesizing results from proxy data and climate models. *Global and Planetary Change, 85,* 56-65.

Jiang P., Yu, Z., & Gautam, R., 2013. Pacific and Atlantic Ocean influence on the spatiotemporal variability of heavy precipitation in the western United States. *Global and Planetary Change, 109,* 38-45.

john C., & Chiang, H., 2002. Tropical tropospheric temperature variat ions caused by ENSO and their influence on the remote tropical climate. *Journal of Climate, 105,* 16-26.

Kelly A., Paul, S., & Ruscher, H., 2014. Large Scale Climate Oscillations and Mesoscale Surface Meteorological Variability in the Apalachicola-Chattahoochee-Flint River. *Journal of Hydrology, 25,* 55-67.

Kutiel, H., Maheras, P., Tulkes M., & Paz, S., 2002. North Sea-Caspian Pattern(NCP)an Upper Level Atmospheric Teleconection Affecting the Eastern Mediterranean Implications on the Regional Climate. *Theoretical and Applied Climatology. 52,* 101-115.

Lazar, B., & Williams, M., 2008. Climate Change in Western Ski Areas: Potential Changes in the Timing of Wet Avalanches and Snow Quality for the Aspen Ski area in the years 2030 and 2100. *Cold Regions Science and Technology 51,* 219-228.

Michael J., 2011. Analysis of teleconnections between AVHRR-based sea surface temperature and vegetation productivity in the semi-arid Sahel. *Remote Sensing of Environment, 115, 12,* 3276-3285.

Oglesby, R., Feng, S., Hu, Q., & Rowe, C., 2012. Spatial and Time Analysis of Rainfall in the Tiber River Basin (Central Italy) in relation to Discharge Measurements (1920-2010. *Procedia Environmental Sciences, 7*, 258-263.

Restrepo, J., Carlos-Ortíz, J., Pierini, J., Schrottke, K., Maza, M., Otero, L., & Aguirre, J., 2013. Data-driven modeling of surface temperature anomaly and solar activity trends. *Environmental Modelling & Software, 37*, 217-232.

Robert H., & Niebauer, H.J., 1999. Causes of Interannual Variability in the Sea Ice Core of the Eastern Bring Sea. *Institute of Marine Science, 22*, 250-263.

Romano, E., Bruna-Petrangeli, A., & Preziosi, E., 2011. Our current understanding of lake ecosystem response to climate change: What have we really learned from the north temperate deep lakes. *Journal of Great Lakes Research, 37,* 173-193.

Shabbar A., 2006. The impact of El Ni˜no-Southern oscillat ion on the Canadian climate. *Advances in Geosciences, 6,* 149–153.

Shimoda, Y., Ekram, M., Gurbir, A., Perhar, M., Melissa A., Sadraddini, S., Gudimov, A., & George B., 2013. Impact of Late Holocene climate variability and anthropogenic activities on Biscayne Bay (Florida, U.S.A.): Evidence from diatoms. *Palaeoclimatology, 371,* 80-92.

Suzan L. L., Jeannine-Marie S., Jacques, D., Sauchyn, J., & Vanstone, J. R., 2011. Teleconnections and interannual variability in Canadian groundwater levels. *Journal of Hydrology, 410*, 178-188.

Tang B.H., & Neelin, J.D., 2004. ENSO influence on Atlantic hurricanes via tropospheric warming. *Geophysical Research Letters, 31*, 204-230.

Tremblay, L., Larocque, M., Anctil, F., & Rivard, C., 2013. Freshwater discharge into the Caribbean Sea from the rivers of Northwestern South America (Colombia): Magnitude, variability and recent changes. *Journal of Hydrology, 509*, 266-281.

Víctor M., Berta O., René-Garduño, E., Villanueva, E., & Adem, J., 2014. Simulation of the PDO effect on the North America summer climate with emphasis on Mexico. *Atmospheric Research, 137,* 228-244.

Wachnicka, A., Gaiser, E., Wingard, L., Briceño, H., & Harlem, P., 2010. Population synchronies within and between ocean basins: Apparent teleconnections and implications as to physical–biological linkage mechanisms. *Journal of Marine Systems, 79,* 267-285.

www.chaharmahalmet.ir/iranarchive.asp

www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/index.html